

Hvordan kan bilindustrien bedst bidrage til miljømæssig bæredygtighed?

Af Professor M.R. Jolly, PhD, BMet, Professor of Sustainable Manufacturing og Dr. K. Salonitis, PhD, MBA, Dip. Eng., Senior Lecturer in Manufacturing Systems, Cranfield University, Cranfield, United Kingdom.

Fortsat fra Støberiet 2019-3

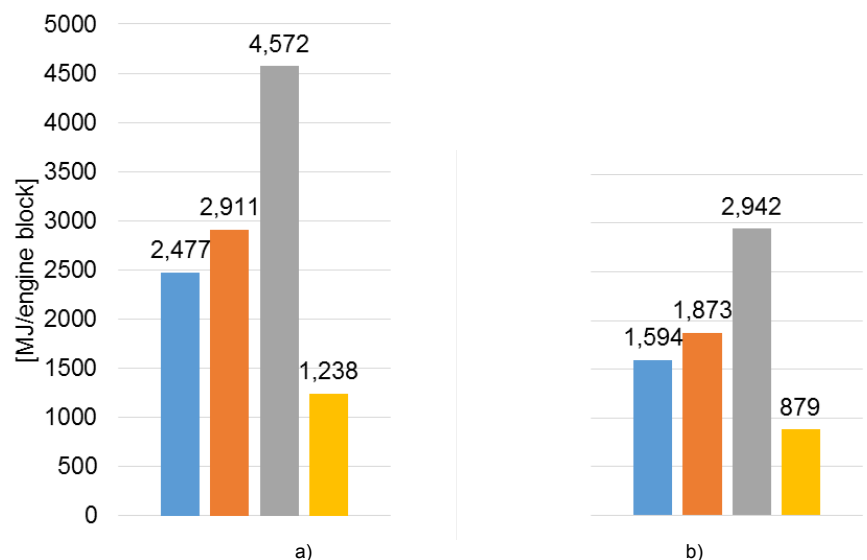
Effekt af Energiforbruget til procesfremstilling (PEB) på Break Even køreafstand (BEDe)

Den tidligere analyse gør det muligt at sammenligne energiefektiviteten ved forskellige fremstillingsprocesser, men for det komplette bæredygtighedsbillede skal man se på effekten af fremstillingsprocessen på break-even-køreafstanden ved udskiftning af tungere materialer (støbejern) med lettere materialer (aluminiumlegeringer). Dette gøres ved at beregne en energibelastning pr. motorblok produceret med hver sin proces og for hvert af brændstofferne. Denne sammenligning er vist i figur 17

Med tallene fra fig.17 beregnes forskellen i PEB mellem en fremstillingsproces med det mindste energibehov (støbejernsblok) og de øvrige processer. Med andre ord, hvor meget skal en bil med en aluminiumsmotorblok køre for den bliver lige så miljøvenlig i forhold til en bil med en støbejernsmotorblok. Ved anvendelse af tallene i tabel 2 og forskellene i energibehovet til fremstillingsprocessen mellem støbejern og aluminium (PEB) i ligning 1 kan vi beregne break-even køreafstanden (BEDe) for hver type aluminiumsmotorblok.

$$BEDe = \Delta PEB (\delta F_s \times E_f \times \Delta M) \times 1000$$

Ligning 1

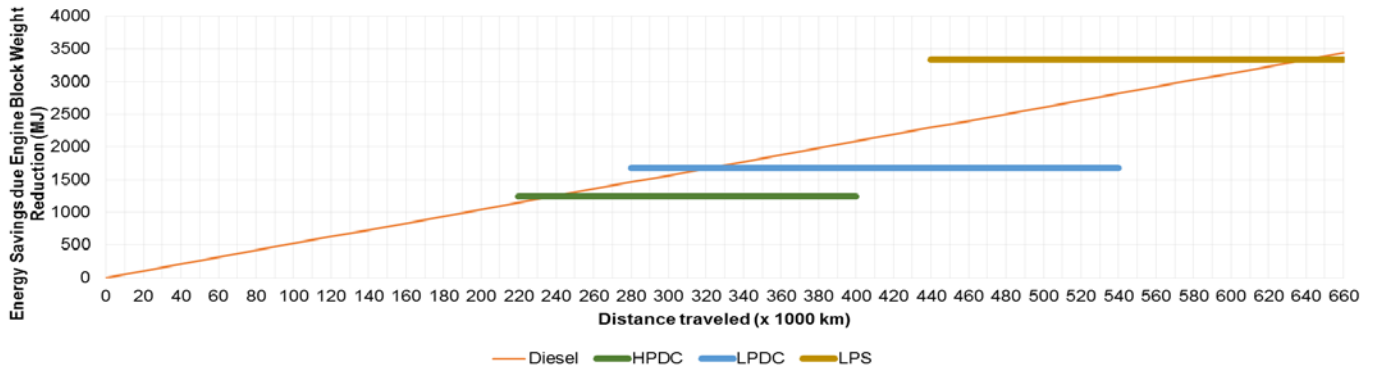


Figur 17: Sammenligning af energiforbruget pr. motorblok for a) diesel og b) benzinbrændstoffer til hver af fremstillingsprocesserne (fra venstre til højre HPDC, LPDC, LPS og støbejern).

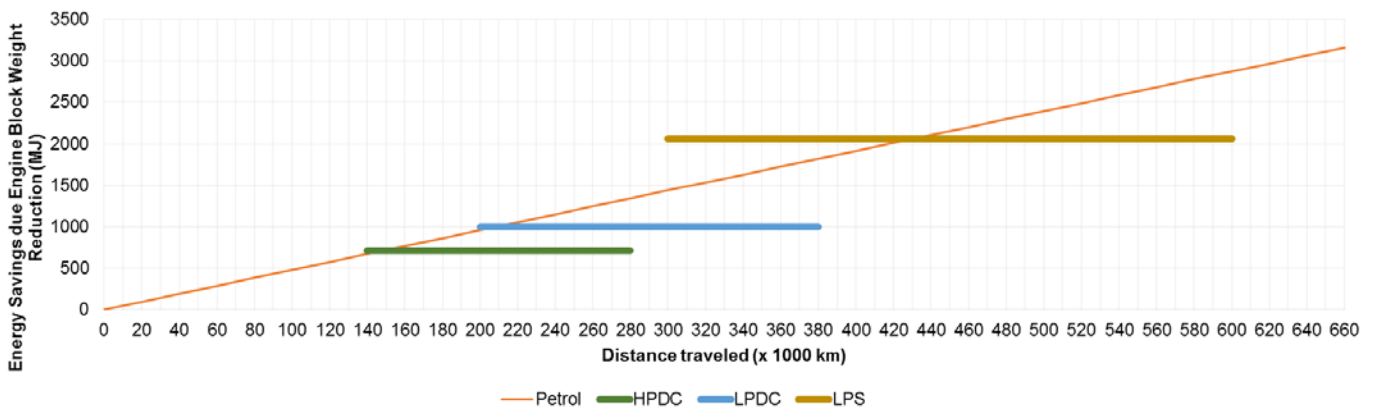
	Diesel	Benzin
Vægtforskel (kg) (ΔM)	9	7
Brandstofbesparelse (L/100km/100kg) (δF_s)	0.15	0.20
Energiindhold (MJ/L) (E_f)	38.6	34.2

Tabel 2: Værdier anvendt til break-even beregninger baseret på 4,6% brændstofbesparelse for hver 10% vægtbesparelse [7]

De beregnede kørefastheder er vist i fig. 18 og 19.



Figur 18: Break-even kørefasthed for en dieseldrevet personbil med en aluminiumsmotorblok, fremstillet ved forskellige processer, sammenlignet med et tilsvarende køretøj med en støbejerns motorblok. Den horisontale længde af linjerne viser variationerne af de mulige besparelser.



Figur 19: Break-even kørefasthed foren benzindrevet personbil med en aluminiumsmotorblok, fremstillet ved forskellige processer, sammenlignet med et tilsvarende køretøj med en støbejernsmotorblok. Den horisontale længde af linjerne viser variationerne af de mulige besparelser.

Som nævnt i indledningen blev der foretaget en analyse af effekten på brændstofforbruget ved bilens vægtreducering. Resultaterne af denne analyse, hvor der tages udgangspunkt i uendelig materialelegens anvendelse, er vist i tabel 3. Den faktiske vægtreduktion er baseret på de viste motorvægtforskelle i tabel 2, udtrykt som en procentdel af den samlede bilvægt (1.300 kg).

Brændstofbesparelse ved (5-10% vægtreduktion)	HPDC		LPDC		LPS	
	Diesel	Benzin	Diesel	Benzin	Diesel	Benzin
	0.69% Faktisk vægtreduktion	0.54% Faktisk vægtreduktion	0.69% Faktisk vægtreduktion	0.54% Faktisk vægtreduktion	0.69% Faktisk vægtreduktion	0.54% Faktisk vægtreduktion
6% [13]	188,000	115,000	253,000	160,000	505,000	331,000
4.6% (base case) [7]	238,000	149,000	321,000	208,000	640,000	431,000
3% [8]	357,000	230,000	482,000	319,000	960,000	663,000

Tabel 3: Sammenfatning af break-even kørefastheden (BEDe) (km) for forskellige processer og brændstoffer.

Et yderligere spørgsmål udsprang af de oprindelige antagelser vedrørende omfanget af energiforbruget til hver materialelegensbrugscyklus. Med andre ord, hvor mange gange har støbejern eller aluminiumslegeringen været igennem det komplette gennemløb fra primær materiale til genbrugsmateriale og fra genbrugsmateriale til genbrugsmateriale igen. Den oprindelige antagelse var, at materialet, som antaget af Brimacombe [4], var "uendeligt" genanvendt. Da det ikke har været muligt at spore materialernes historie helt nøjagtigt, ved man ikke, hvor det genbrugte materiale faktisk befinder sig i det asymptotiske livsforløb mod uendeligt genbrug. For at vurdere, hvilken effekt denne usikkerhed har, er der udført en sensitivitetanalyse af 5, 10, 15, 20 og et uendeligt antal gennemløb. Resultaterne er vist i tabel 4, og det er tydeligt at en øget genanvendelse giver en langt lavere PEB-værdi. Fig. 20 viser en grafisk sammenfatning af samme tal.

Antal gennemløb	Breakeven køreafstand (D) (X 1000 km)					
	HPDC		LPDC		LPS	
	Diesel	Benzin	Diesel	Benzin	Diesel	Benzin
5	321	206	414	272	721	487
10	268	170	355	231	669	451
15	254	161	340	220	656	442
20	249	157	333	216	650	438
uendeligt	240	150	322	210	645	435

Tabel 4: Virkning af antal genanvendelsesgennemløb på break-even køreafstanden

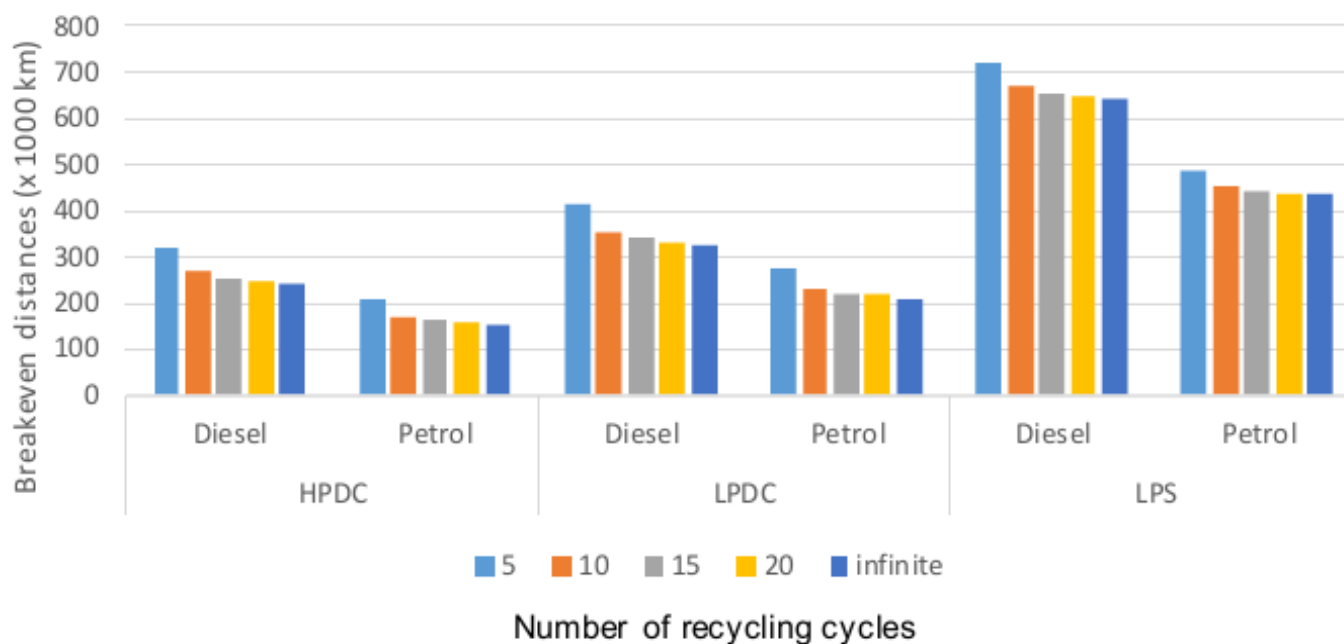
Tabel 5: CO₂ mængder når der produceres elektricitet fra forskellige energikilder [14]

Kilde	t CO ₂ /TJ	t CO ₂ /GWhr
Kul	98.5	355
Benzin	67.7	244
Vandkraft	2.5	9
Naturgas	50.4	181
Kernekraft	4.2	15
Olie	69.5	250
Propan	59.9	216
Vindenergi	2.8	10

Effekt af fremstillingsforårsaget CO₂-udledninger på break-even køreafstand

Alle beregningerne har hidtil fokuseret på mængden af energi, der anvendes til fremstilling af motorblokke samt en beregning

af energibesparelser opnået ved anvendelse af lettere materialer. Men hvad der faktisk er vigtigere, er den indvirkning CO₂ dannet under materialefremstilling og efterfølgende produktionsfremstilling, har på reduktion af CO₂ opnået ved letvægtsemner.



Figur 20: Sammenfatning af et øget antal gennemløb på break-even afstanden.

Africa	Asia (ex. China)	GCC	China	North America	South America	West Europe	East & Central Europe	Oceania	ROW	TOTAL
1,687	3,001	5,104	31,672	4,469	1,325	3,745	3,829	1,978	1,080	57,890
2.9%	5.2%	8.8%	54.7%	7.7%	2.3%	6.5%	6.6%	3.4%	1.9%	100.0%

Tabel 6 viser verdens produktion af primær aluminium i 2015 (data fra World Aluminium Organisation).

Elektricitetsproduktion

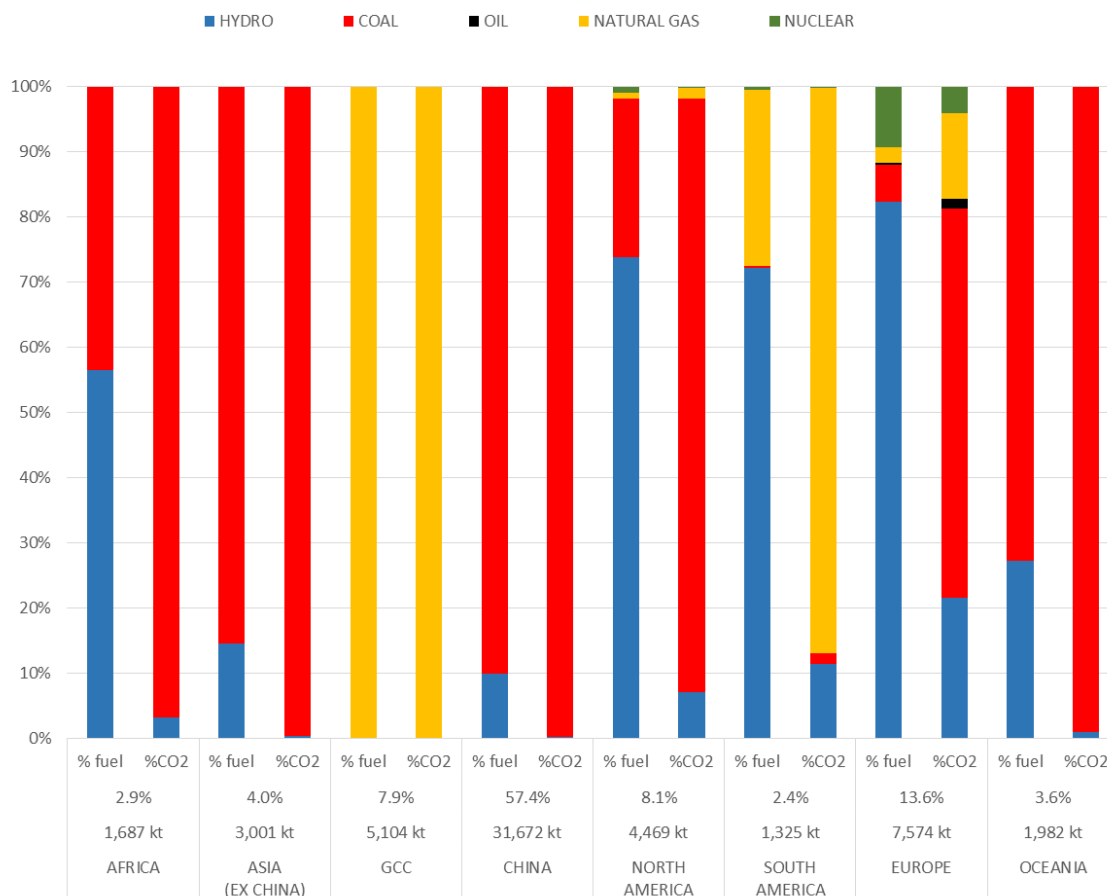
Aluminiumlegeringers CO₂-fodaftrykket påvirkes væsentligt af, hvor primær aluminium produceres og navnlig hvilke type energi der anvendes til elproduktionen. Tabel 5 viser CO₂-niveauerne, når der anvendes forskellige typer elektrisk produktion.

Aluminiumproduktion

Der er meget gode offentliggjorte data tilgængelige om de el-kilder, der anvendes til elektrolyse af primær aluminium, som er den største andel energi, der anvendes til produktion af primær aluminium. Figur 21 illustrerer andelen af energikilder, der anvendes over

hele verden til elektrolytisk produktion af primær aluminium.

Selvom det ser ud til (figur 21) at en stor del elektricitet til aluminiumsproduktion kommer fra kilder med lav CO₂-produktion, er andelen i tonnage 28 % (hovedsageligt vandkraft), mens 72% stammer fra fossile brændstoffer



Figur 21: Diagrammet viser fordelingen af energikilder til elproduktion til elektrolytisk produktion af primær aluminium i forskellige regioner. Den højre søjle i hver region viser % CO₂-fodaftrykket fra de pågældende energikilder. Den vandrette akse viser også procentandelen af den rapporterede verdensproduktion og tonnage [16]

Energikilde	kt	CO₂	%
	årligt		
Vandkraft	2,086		1.2
Kul	158,418		91.1
Olie	65		0.0
Naturgas	13,149		7.6
Kernekraft	181		0.1
Total	173,899		100.0

Tabel 7: Globalt produceret mængde CO₂ årligt til produktionen af primær aluminium med forskellige energikilder

(hovedsageligt kul og naturgas). Mængden af CO₂ fra elektrolysen i aluminiumsproduktionen fra specifikke energikilder er vist i tabel 7

For at kunne repræsentere den samlede mængde CO₂- der kan henføres til elektrolysefasen i aluminiumsproduktionen, er det vigtigt at kende sammensætningen af energimixet for det aluminium, der forbruges i støberierne. Undersøgelsen viste, at dette er afhængig af støberierne, idet nogle kun anvender primær aluminiumsblokke og andre sekundær aluminiumsblokke blandet med internt og eksternt skrot. Det kan ikke vides om sekundær aluminium ikke

indeholder primær aluminium, da det ofte legeres med primær metal for at sikre den korrekte sammensætning. Således har de beregnede tal taget dette i betragtning for at sikre, at de repræsenterer de konkrete tilfælde. For at bruge de mest gunstige forhold for aluminium er der regnet med et uendeligt genbrugskredsløb.

.Den beregnede CO₂-indhold er opdelt i to grupper, som vist i figur 11 og 16 - dvs. energien til materialeproduktionen og procesenergien. Hver af procesenergiene har fået tildelt en oprindelseskilde og i nogle tilfælde to forskellige energikilder. For eksempel har varmebehandling en energiandel

hidrørende fra naturgas og en energiandel fra elektricitet. Det antages at energikilden til bearbejdning er overvejende elektrisk. Hvor der bruges en elektrisk energikilde, anvendes et CO₂-fodaftryk på 63 kg CO₂ / GJ hidrørende fra en global gennemsnitsværdi. For de andre energikilder er dataene hentet fra offentlige data fra Carbon Trust (tabel 8) [16]. Hvor der bruges en elektrisk energikilde, anvendes et CO₂-fodaftryk på 63 kg CO₂ / GJ hidrørende fra en global gennemsnitsværdi. For de andre energikilder er dataene hentet fra offentlige data fra Carbon Trust (tabel 8) [16].

Brændstof	kg C/kWh	kg CO₂/kWh	kg C/MJ	kg CO₂/MJ
El leveret fra nettet	0.1170	0.4300	0.0325	0.1194
Biomasse	0.0453	0.1661	0.0126	0.0461
Naturgas	0.0518	0.1900	0.0144	0.0528
Kul	0.0817	0.3000	0.0227	0.0833
Koks	0.1013	0.3730	0.0281	0.1036
Petroleumskoks	0.0927	0.3400	0.0258	0.0944
Gas/Dieselolie	0.0680	0.2500	0.0189	0.0694
Fuelolie	0.0709	0.2600	0.0197	0.0722
Benzin	0.0655	0.2400	0.0182	0.0667
LPG	0.0573	0.2140	0.0159	0.0594
Flybenzin	0.0655	0.2400	0.0182	0.0667
Ethan	0.0545	0.2000	0.0151	0.0556
Naphtha	0.0709	0.2600	0.0197	0.0722
Fuelgas	0.0545	0.2000	0.0151	0.0556

Tabel 8: Kulstofrelaterede Emissionsværdier [16]:

Ovennævnte værdier er fra bilag A i UKETS (01) 05 (Retningslinjer for måling og rapportering af emissioner i UK). Disse værdier er i overensstemmelse med National Air Emission Inventory og med værdier for kulemission, der er angivet i generisk PP3.02.